

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/001164

International filing date: 04 February 2005 (04.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: AT

Number: A 719/2004

Filing date: 27 April 2004 (27.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in
compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT
A-1200 Wien, Dresdner Straße 87

Kanzleigebühr € 31,00
Schriftengebühr € 117,00

Aktenzeichen A 719/2004

Das Österreichische Patentamt bestätigt, dass

**Dr. Adolf Friedrich Fercher
in A-1230 Wien, Hassreitersteig 3/11,**

am **27. April 2004** eine Patentanmeldung betreffend

"Kurzkohärenz-interferometrische Längenmessung am Auge",

überreicht hat und dass die beigeheftete Beschreibung samt Zeichnungen mit der ursprünglichen, zugleich mit dieser Patentanmeldung überreichten Beschreibung samt Zeichnungen übereinstimmt.

Für diese Anmeldung wurde die innere Priorität der Anmeldung in Österreich vom 6. Feber 2004, A 179/2004, in Anspruch genommen.

Es wurde beantragt, Dr. Adolf Friedrich Fercher in Wien, als Erfinder zu nennen.

Österreichisches Patentamt
Wien, am 3. November 2004

Der Präsident:



HRNCIR
Fachoberinspektor

A 719/2004

1. Erfindung

Kurzkohärenz-interferometrische Längenmessung am Auge

Prof. Dr. Adolf Friedrich Fercher
Hassreitersteig 3/11
A-1230 Wien

Die vorliegende Anmeldung betrifft ein **Messverfahren der diagnostischen Ophthalmologie**, insbesondere Messanordnungen für die Messung von Teilstreckenlängen am Auge im Zusammenhang mit der Katarakt-Chirurgie und der refraktiven Augenchirurgie.

Stand der Technik: Bei der Katarakt-Chirurgie und der refraktiven Augenchirurgie wird durch geeignete Wahl der Brechkraft der zu implantierenden Intraokularlinse eine bestimmte Brechkraft des Auges erhalten oder erzielt. Hierzu ist die Messung des refraktiven Ausgangszustands des Auges und, gegebenenfalls, nach erfolgter Operation, auch die Messung des refraktiven Endzustands erforderlich. Hierzu finden Keratometer zur Messung der Hornhautkrümmung Verwendung und akustische oder optische Längenmessverfahren zur Bestimmung der axialen Teilstrecken des Auges.

Die Bestimmung der axialen Augenlänge erfolgt heute bereits sehr häufig mittels optischer Kurzkohärenz-Interferometrie, die gegenüber der bisher dominierenden Ultraschall-Methode die Vorteile der berührungsfreien und hochpräzisen Arbeitsweise hat. Bei der Kurzkohärenz-Interferometrie treten Interferenzen nur dann auf, wenn sich Objekt und Referenzspiegel bis auf die Kohärenzlänge l_C im gleichen optischen Abstand vom Strahlteiler befinden, oder, anders ausgedrückt, die betreffende Objektstruktur befindet sich „im Kohärenzfenster“. Zur Messung der Distanzen von Objektstrukturen werden diese – bei der üblichen time-domain-Methode – durch kontrolliertes Verschieben eines Spiegels im Referenz- oder Messstrahl zeitlich hintereinander in das Kohärenzfenster gebracht. Die Messgenauigkeit ist daher durch die Kohärenzlänge l_C des Messlichtbündels gegeben, welche neben der Wellenlänge λ hauptsächlich von dessen spektraler Breite $\Delta\lambda$ abhängt (genau genommen spielt auch die Form des Spektrums eine Rolle):

$$l_C \sim \lambda^2 / \Delta\lambda. \quad (1)$$

Das Kohärenzfenster hat in der ophthalmologischen Kurzkohärenz-Interferometrie meist eine Länge ($= l_C$) von einigen Mikrometern.

erzeugt einen störenden Untergrund und Rauschen. Ferner ist dadurch ein Fokussieren des

Messlichts auf die jeweilige Messstelle schwierig zu realisieren; insbesondere bei mehreren distanzierten Objektbereichen wird diese Problematik gravierend. Die moderne ophthalmologische Längenmessung am Auge erfordert jedoch mehr als eine Strecke zu messen, nämlich zusätzlich zur Augenlänge noch Distanzen wie die Vorderkammertiefe und die Cornea- und Augenlinsendicke.

Es ist daher die **technische Aufgabe der Erfindung**, Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges anzugeben, die den Messstrahl auf die jeweiligen Kohärenzfenster fokussieren und weiters die erforderlichen Interferometerspiegel-Scan-Strecken auf kleinere Strecken als die zu messende Distanz reduzieren.

Dies wird erfindungsgemäß durch ein Kurzkohärenz-Interferometer gelöst, in dem ein 90-Grad-Spiegel und eine Fokussieroptik gemeinsam eine periodische Hin-und-her Bewegung so ausführen, dass der von der Fokussieroptik erzeugte und mittels einer Relais-Optik auf das Auge abgebildete Messstrahlfokus synchron mit dem Kohärenzfenster von der Cornea entlang der optischen Achse des Auges bis zur Fovea centralis bewegt wird und weiters mittels mehrerer Reflektoren unterschiedliche Weglängen in den Mess- und Referenzstrahlengängen erzeugt werden.

Die Figur 1 erläutert zunächst die geometrische Optik des Tiefenscans am Auge: 101 ist der bewegte Fokus des Messstrahls eines Kurzkohärenz-Interferometers, der sich entlang der durch den Doppelpfeil 102 angedeuteten Strecke der Länge S bewegt. Der Fokus 101 wird mittels einer Relais-Optik 103 auf das Auge 104 abgebildet. Die kurzkohärenz-interferometrische Bedingung ist hierbei, dass für eine Bewegung des Fokus 101 um die optische Länge $S = L$ des Auges (beim Gullstrand-Auge ist L etwa gleich 33 mm), das Bild 101' des Fokus 101 die gesamte Länge des Auges 104 vom Corneascheitel 105 bis zur Fovea centralis 106 abtasten soll. Es soll also der Punkt 107 am Ende dieser Bewegung in den Punkt 106 abgebildet werden. Dies erreicht man für eine Optik der Brennweite f , wenn sich der Corneascheitel im Abstand

$$b_0 = \frac{f(f+L)}{L} \quad (2)$$

Messstrahl 315 und Referenzstrahl 305. Der Referenzstrahl 305 wird von dem Referenzspiegel

Patent30Ncu.doc

306 in Richtung Strahlteiler 308 reflektiert. Er durchsetzt dabei 2 mal die zwei Dispersions-Kompensationsprismen 307 und 307'. Nach Durchlaufen des Strahlteilers 308 trifft der Referenzstrahl 305 auf die Optik 310 und wird von dieser auf den Photodetektor 311 fokussiert.

Der vom Strahlteiler 304 (in der Zeichnung nach links) reflektierte Messstrahl 315 wird von dem 90-Grad-Spiegel 316 um 90° aus seiner ursprünglichen Richtung reflektiert und trifft auf den Reflektorspiegel 317, der hier als verspiegelte Rückfläche einer Planplatte 318 ausgebildet ist. Es versteht sich von selbst, dass hier auch andere Spiegel verwendet werden können, beispielsweise Oberflächenspiegel mit der Reflektorseite dem eintreffenden Strahl zugewandt. Der reflektierte Messstrahl 315' wird von dem 90-Grad-Spiegel 316 wiederum auf den Strahlteiler 304 gerichtet, durchläuft diesen sowohl als auch den Strahlteiler 308 geradlinig und wird von der Fokussieroptik 319 – als Messstrahl 334 – in den Fokus 320 fokussiert. Der Fokus 320 befindet sich – wie beispielsweise in der Figur 3 gezeichnet – in der doppelten gegenstandseitigen Brennweite der Relais-Optik 321. Die Relais-Optik 321 bildet den Fokus 320 auf das Auge 323 ab. Der Fokus 320 wird – wie beispielsweise in der Figur 3 gezeichnet – in der doppelten bildseitigen Brennweite der Relais-Optik 321 in den Punkt 322 abgebildet. Der Punkt 322 befindet sich auf der Cornea eines Auges 323, dessen Länge L gemessen wird.

Die Strahlteiler 304 und 308 können zur Vermeidung von störenden Reflexionen und zur Optimierung der Strahlintensitäten als polarisierende Strahlteiler ausgebildet werden. Dann kann man durch Drehen eines Linearpolarisators 330 das Teilungsverhältnis Referenzstrahlintensität zu Messstrahlintensität so optimieren, dass man am Photodetektor 311 optimales Signal-zu-Rausch-Verhältnis erhält. Ferner kann man nach dem Strahlteiler 304 im Messstrahl 315 eine $\lambda/4$ -Platte 331 unter 45° zur Polarisationsrichtung anordnen. Dann wird der Reflektor 317 von einem zirkular polarisierten Lichtbündel 315 beleuchtet, welches nach Reflexion als Lichtbündel 315' gegenläufig zirkular polarisiert ist und nach einem weiteren Durchsetzen der $\lambda/4$ -Platte 331 wieder linear polarisiert wird und zwar orthogonal zur ursprünglichen Polarisationsrichtung. Dieser Strahl 332 durchsetzt daher die polarisierenden Strahlteiler 304 und 308 ohne Reflexionsverluste und trifft auf eine weitere $\lambda/4$ -Platte 333, unter 45° angeordnet. Hier wird der Messstrahl 334 wiederum zirkular polarisiert und von der Fokussieroptik 319 in den Fokus 320 und weiter von der Relais-Optik 321 in den Fokus 322 fokussiert. Der Corneascheitel reflektiert das Lichtbündel 324, nunmehr entgegengesetzt zirkular polarisiert. Dieses zurück laufende

Augenlänge L nach rechts verschieben und diese Strecke anhand der dann auftretenden

Kurzkohärenz-Interferenzen des vom Fundus 325 reflektierten Lichts mit dem Referenzlicht abgrenzen. Alternativ kann die Position des Reflexionsprismas 306, wie oben ausgeführt, mit Hilfe des Verschiebetisches 358 so abgestimmt werden, dass der Fokus für einen Punkt etwa in der Mitte der Vorderkammer des Auges in der Mitte des Kohärenzfensters liegt. Eine solche Justierung ist besonders dann von Interesse, wenn es um präzise Messungen der Vorderkammergeometrie geht.

Die Genauigkeit kurzkohärenz-interferometrischer Messungen wird durch Dispersion in den Interferometerarmen beeinträchtigt. Zur Erzielung der maximal möglichen Genauigkeit, die etwa von der Größe der Kohärenzlänge l_C ist, muß die Dispersion in den beiden Interferometerarmen möglichst gleich groß sein – man spricht dann von „Dispersionskompenstation“. Die durch die Interferometerbauteile bedingte Dispersion kann durch entsprechend gewählte Dicken der Spiegelplatte 318 oder durch zusätzliche Planplatten (350, 350') erreicht werden. Die objektabhängige Dispersion kann durch gegenseitiges Verschieben (Doppelpfeile 351 und 351') zweier Keilplatten (307, 307') im Referenzarm kompensiert werden.

Zur Beobachtung der Position des Probandenauges 323 relativ zum Messstrahl kann im Messstrahl ein teildurchlässiger Spiegel 362 angeordnet werden. Diese Beobachtung kann direkt (363), mit Hilfe eines Okulars 364 oder mit Hilfe einer Fernsehkamera 365 erfolgen. Hierzu kann es sinnvoll sein, das Probandenauge 323 zusätzlich mit einer inkohärenten Lichtquelle 366 zu beleuchten. Zur präzisen Positionierung des Probandenauges auf der Interferometerachse 340 kann auch das Bild 370 einer Strichplatte 371 benutzt werden, welches über einen teildurchlässigen Spiegel 372 auf die Probanden-Cornea gespiegelt wird.

Die soweit beschriebenen Verfahren haben den Nachteil, dass die Scannerplatte 335 um die gesamte Augenlänge L verschoben werden muss, was zeitaufwendig ist.

In einer weiteren Ausformung der Erfindung wird nun vor dem Reflektor 317 ein weiterer Reflektor 517 angeordnet, wie in der Figur 4 dargestellt. Dieser Planspiegel befindet sich von dem Reflektor 317 in einem bekannten Abstand D . An diesem Spiegel wird bereits ein Teil des Messlichtstrahls 315 reflektiert. Dieser Teil des Messlichtstrahls 315' hat gegenüber dem am Reflektor 317 reflektierten Messlicht bereits eine um die optische Länge D am Auge nach rechts

In den bisher beschriebenen Anordnungen hat man immer noch alle zu den verschiedenen Objekttiefen gehörigen Messstrahlen gleichzeitig am Photodetektor, weil die Reflektoren 517 und 519 teildurchlässig sein müssen. Das vermindert die Signalqualität und kann zu Signalverwechslungen führen. Die nachfolgend beschriebene weitere Ausformung der erfundungsgemäßen Anordnung vermeidet diese Probleme.

In der Anordnung nach Figur 5 trifft der von dem 90-Grad-Spiegel 316 um 90° aus seiner ursprünglichen Richtung reflektierte Messstrahl 315 je nach Position der Scannerplatte 335 auf mehrere nicht nur in der Tiefe, sondern auch seitlich gestaffelte Reflektoren 617 (mit Platte 618) und 619 (mit Platte 620). Das hat zur Folge, dass jeweils nur ein einziger Messstrahl an der kurzkohärenz-interferometrischen Messung teilnimmt. Hier können alle Reflektoren voll verspiegelt ausgeführt sein. Alle in der Tiefe separierten Messungen werden nun optisch getrennt ausgeführt. Auch hier braucht die Scannerplatte 335 zur Messung der Augenlänge L nur eine Distanz von etwa $S = L - D$ bewegt zu werden. Auch hier muß der Abstand des Corneascheitels von der Relais-Optik 321 gleich $b = f + \frac{f^2}{L - D}$ betragen.

Die Figur 6 skizziert einen vereinfachten Interferometeraufbau. Hier sind 90-Grad-Spiegel 316 und Fokussieroptik 319 nebeneinander auf der Scannerplatte 335 montiert, die sich in Richtung der optischen Achse 340 periodisch zwischen der durchgezogen gezeichneten Position 335 und der gestrichelt gezeichneten Position 335' hin und her bewegt (Doppelpfeil 560). Die übrigen Bezeichnungen entsprechen denen der vorhergehenden Figuren. Hier erübrigt sich die Trägerplatte 357.

Auch alle anderen im Zusammenhang mit den Figuren 3, 4 und 5 erläuterten Vorrichtungen, wie beispielsweise die Vermeidung von störenden Reflexionen durch polarisationsoptische Massnahmen und die Dispersionskompensation sind für die Anordnung nach Figur 6 ausführbar. Bei Fehlsichtigkeit kann dem Auge 323 eine sammelnde oder zerstreuende Hilfs-optik 639 vorgesetzt werden, welche die Fehlsichtigkeit kompensiert.

Fokus 710 wird von der Relais-Optik 711 in den Punkt 712 abgebildet. Der Punkt 712 befindet sich auf der Cornea eines Auges 723, dessen Länge L gemessen wird.

Die Fokussieroptik 709 ist mittels einer Halterung 724 auf der Scannerplatte 725 montiert. 725 kann der bewegte Schlitten eines Voice Coil Scanners - beispielsweise der Firma Physik Instrumente - oder eines Ultraschall-Scanningtisches oder einer anderen entsprechenden Vorrichtung sein, dessen Fußplatte 726 auf der Grundplatte 799 befestigt ist. Während der Messung wird die Scannerplatte 725 entlang der optischen Achse 740 um die Strecke S zwischen der durchgezogen gezeichneten Position 725 und der gestrichelt gezeichneten Position 727 periodisch hin und her bewegt. Befindet sich die Scannerplatte in der gestrichelt gezeichneten Position, dann befindet sich der Fokus des Lichtbündels 704 – beispielsweise in der in Figur 7 dargestellten Konfiguration – im Brennpunkt 728 der Relais-Optik 711 und das Lichtbündel 704 wird als parallel kollimiertes Lichtbündel 730 auf das Auge 723 gerichtet. Das Auge fokussiert dieses Lichtbündel auf seinen Fundus. Bei Fehlsichtigkeit kann dem Auge 723 eine sammelnde oder zerstreuende Hilfsoptik 730 vorgesetzt werden, welche die Fehlsichtigkeit kompensiert.

Das bei 743 aus der Lichtleitfaser 702 austretende Referenzlichtbündel 744 wird von der Optik 745 eines Faser-Kollimators kollimiert und nach Durchlaufen einer beispielsweise aus zwei Keilplatten (746, 746') bestehenden Dispersionskompensations-Vorrichtung von dem Dachkantspiegel 747 auf den 90-Grad-Spiegel 748 und von diesem in Richtung optischer Achse 740 des Kurzkohärenz-Interferometers gerichtet. Das Lichtbündel 744 trifft dort auf den bewegten 90-Grad-Spiegel 749, der das Lichtbündel 744 auf den Reflektor 750 richtet. Das Referenzlichtbündel 744 wird von diesem Spiegel in sich selbst reflektiert und nimmt seinen Weg zurück bis in die Lichtfaser 702.

Wenn sich die Scannerplatte 725 entlang der optischen Achse 740 in Richtung auf die gestrichelt gezeichnete Position hin bewegt, wird das Referenzlichtbündel 744 von dem 90-Grad-Spiegel 749 hintereinander auf die Reflektoren 750, 751 und 752 gerichtet. Es können hier noch weitere Reflektoren in der Tiefe und seitlich gestaffelt angeordnet werden. Außerdem können hier auch Planplatten 753 zur Dispersions-Kompensation angebracht werden. So werden Referenzlicht-Wegstrecken unterschiedlicher Längen realisiert, beispielsweise um – neben der Position von

Fundus und Corneascheitel – Positionen von weiteren Strukturen wie der inneren Corneafläche, der Linsenvorderfläche und der Lisenrückfläche zu messen.

In der Figur 7 ist beispielsweise der Fall skizziert, bei dem der Abstand zwischen den (Cornea- und Fundus-assoziierten) Reflektoren 750 und 752 gleich der Strecke D ist. Wie schon im Zusammenhang mit der Anordnung nach Figur 4 beschrieben, verkleinert sich so die von der Scannerplatte 725 zur Augenlängenmessung zurückzulegende Strecke um D . Zur Messung der Länge L eines Auges, bedarf es nur einer Bewegung um die Strecke $S = L - D$. Tatsächlich könnte man diese Strecke sogar fast Null machen: man bräuchte die Scannerplatte 725 ja eigentlich nur um die Kohärenzlänge l_c bewegen - um die Interferenz nachzuweisen. Wegen der aber doch recht großen Streuung tatsächlicher Augenlängen wird man die Scannerplatte 725 um eine Strecke von etwa dieser Streuung, also um einige (x) Millimeter, bewegen müssen. Jedenfalls kann die ansonsten doch recht lange zu scannende Strecke L auf wenige Millimeter reduziert werden. Entsprechend breit müssen die Reflektoren 750, 751, 752 sein: nämlich gleich der Breite des Strahls 744 plus x Millimeter. Eine weitere Anpassung ist durch die Justierung der Referenzstrahlänge mittels des Reflexionsprismas 747 möglich, das auf einer Verstellvorrichtung 758 montiert ist, die in die Richtungen des Doppelpfeils 754 verschiebbar ist.

Wie oben angedeutet, ist erfundungsgemäß vorgesehen, dass das Messlichtbündel 704 in den Positionen 725 und 727 der Scannerplatte einmal auf die Cornea fokussiert wird und einmal am Fundus. Damit bei einer Verschiebung der Scannerplatte 725 um die Strecke $S = L - D$ der Messstrahl 704 einmal an der Cornea (durchgezogen gezeichnete Scannerplatten-Position) und einmal am anderen Ende der Bewegung (gestrichelt gezeichnete Scannerplatten-Position) fokussiert wird muß, wie schon im Zusammenhang mit der Figur 3 erläutert, die Distanz des

Scheitels der Vorderfläche der Cornea von der Relais-Optik 711 gleich $b = f \left(1 + \frac{f}{L - D} \right)$ sein;

f ist die Brennweite der Relais-Optik 711. Falls sich das Kohärenzfenster anfangs (Scannerplatten-Position 725) an der Cornea befindet, wird es sich am Schluß der Verschiebung der Scannerplatte (Scannerplatten-Position 727) am Fundus befinden. Ist beispielsweise $S = f$, dann ist $b = 2f$; für eine Brennweite der Relais-Optik 711 von $f = 50\text{mm}$ erhält man $b = 100\text{mm}$.

Es sei erwähnt, dass man den tatsächlichen mechanischen Scanbereich der Scannerplatte 725 etwas größer als S wählen wird, beispielsweise um im eigentlichen Messbereich eine annähernd konstante Geschwindigkeit zu realisieren, was die nachfolgende elektronische Signalverarbeitung erleichtert.

Ferner kann die Position des Reflexionsprismas 747 mit Hilfe des Verschiebeträgers 758 so abgestimmt werden, dass der Fokus des Messstrahls am Auge für einen Punkt etwa in der Mitte der Vorderkammer auch in der Mitte des Kohärenzfensters liegt. Eine solche Justierung ist besonders dann von Interesse, wenn es um präzise Messungen der Vorderkammergeometrie geht.

Auch hier können mittels eines weiteren Reflektors 751, wie schon im Zusammenhang mit dem Reflektor 519 in der Figur 4 erläutert, beispielsweise die Vorderkammertiefe oder andere Teilstrecken des Auges gemessen werden.

Als Kurzkohärenz-Lichtquelle 760 kann eine mit einer "Pig-Tail" Faser ausgestattete Superlumineszenzdiode oder eine andere Kurzkohärenz-Lichtquelle verwendet werden, wobei die Strahlung letzterer in die Lichtleitfaser 761 mittels dem Stand der Technik entsprechender Koppler einzukoppeln ist. Bei Verwendung einer Pig-Tail Superlumineszenzdiode kann die Strahlung aus dem Pig-Tail direkt in den ersten Faserkoppler 762 eingekoppelt werden. Dieser koppelt die Lichtwelle in die Faser 763, die die Lichtwelle im 50:50 Koppler (3dB-Koppler) 700 auf Messfaser 701 und Referenzlichtfaser 702 verteilt. Faserschleifen-Polarisations-Controller 765 können zur Einstellung des Polarisationszustands in den zwei Interferometerarmen verwendet werden. Die elektrischen Ausgänge 770 und 771 der beiden Photodetektoren 772 und 773 werden an die Eingänge eines Differentialverstärkers 774 gelegt, dessen Ausgangssignal beispielsweise bandpassgefiltert und demoduliert wird.

Zur Beobachtung der Position des Probandenauges 723 relativ zum Messstrahl kann – wie schon im Zusammenhang mit der Anordnung nach Figur 3 beschrieben – auch hier im Messstrahl ein teildurchlässiger Spiegel 362 angeordnet werden. Die Beobachtung kann dann direkt (363), mit Hilfe eines Okulars 364 oder mit Hilfe einer Fernsehkamera 365 erfolgen. Es kann auch hier sinnvoll sein, das Probandenauge 323 zusätzlich mit einer inkohärenten Lichtquelle 366 zu beleuchten. Ferner kann auch hier zur präzisen Positionierung des Probandenauges auf der

Interferometerachse 740 das Bild 370 einer Strichplatte 371 benutzt werden, welches über einen teildurchlässigen Spiegel 372 auf die Probanden-Cornea gespiegelt wird.

In der Figur 7 sind noch 3 weitere Kästen (gestrichelt) eingezeichnet: 778, 779 und 780. Die in diesen Kästen befindlichen Bauteile bilden Funktionsgruppen, die weitgehend separat aufgestellt werden können. Der Strahlengang, wie in der Figur 8 angegeben, ist zunächst gegenüber jenem der Figur 7 dadurch verschieden, dass der zum Referenzstrahlengang gehörende bewegte 90-Grad-Spiegel 749 und die den Fokus 710 im Messstrahlengang erzeugende Fokussieroptik 709 auf der Scannerplatte nebeneinander angeordnet sind. Damit entfällt die Platte 708 und alle auf ihr befindlichen Komponenten können direkt auf der Grundplatte 799 montiert werden, was den Aufbau nicht nur insgesamt vereinfacht sondern auch stabiler macht.

Schließlich ist in der Figur 9 ein weiterer erfindungsgemäßer Strahlengang angegeben, bei dem der bewegte 90-Grad-Spiegel 749 des Interferometer-Referenzarms und die bewegte Fokussieroptik 709 des Interferometer-Messarms auf separaten Scannerplatten 925 und 925' montiert sind. Diese separaten Scannerplatten können elektrisch synchronisiert werden. Sie können jedoch auch mit unterschiedlichen Scan-Strecken betrieben werden. Es muß lediglich sichergestellt werden, dass $S \geq L - D$ und die Distanz des Scheitels der Vorderfläche der Cornea von der Relais-Optik 711 gleich $b = f \left(1 + \frac{f}{L - D} \right)$ ist, mit der Brennweite f der Relais-Optik 711. Über die geeignete Wahl der Brennweite f der Relais-Optik 711 kann das ophthalmologische Kurzkohärenz-Interferometer – bei sonst unveränderten Parametern – leicht an andere ophthalmologische Einrichtungen und Messvorrichtungen angebaut werden. Anstelle des hier dargestellten Interferometer-Referenzarms kann als Referenzarm auch eine sogenannte „Rapid Scan Optical Delay Line“, wie in K. F. Kwong, et al.: 400-Hz mechanical scanning optical delay line, Optics Letters 18 (1993) pp. 558-560, beschrieben, mit dem Interferometer-Meßarm nach Figur 9 kombiniert werden.

Die im Zusammenhang mit der Anordnung nach Figur 3 beschriebenen Modifizierungen zur Vermeidung von störenden Reflexionen, zur Dispersionskompensation und zur Beobachtung der Position des Probandenauges lassen sich auch in dem Strahlengang nach Figur 7, 8 und 9

sinngemäß realisieren. Man kann ferner die Position des Reflektors 752 und das Dachkantrisma 747 mit Hilfe der Verschiebetische 758 durch axiales Verschieben (Doppelpfeile 754) so auf die aktuellen Teilstreckenlängen des Auges abstimmen, dass der erforderliche mechanische Scanvorgang des Kurzkohärenz-Interferometers auf wenige Millimeter reduziert wird. Dadurch wird der Messvorgang am Auge nicht nur erheblich beschleunigt, sondern auch der Einsatz billigerer Scanner ermöglicht.

Schließlich sei auch noch bemerkt, dass als Fokussieroptik (103, 319, 709) auch eine Zerstreuungslinse (709') verwendet werden kann. Die Figur 10 skizziert einen entsprechenden Strahlengang des Interferometer-Meßarms. An die Stelle des reellen Fokus 728 tritt nun der virtuelle Fokus 728.

Eine weitere erfindungsmäßige Anordnung ist in der Figur 11 dargestellt. Diese Anordnung erlaubt es, durch Faltung des Referenzstrahls Scanner mit kleinerem Scan-Hub zu verwenden. In der gezeichneten Anordnung läuft der Referenzstrahl 3-mal zwischen den Reflektoren 1001, 1002, 1003 und 1004 hin und her. So ergibt sich eine Verkleinerung des Scannerhubs um den Faktor 3. Mit noch mehr Reflektoren kann eine noch weitere Verkürzung des erforderlichen Scan-Hubs erreicht werden.

Die Kurzkohärenz-Lichtquelle 301, beispielsweise eine Superlumineszenzdiode, emittiert einen zeitlich teilkohärenten und räumlich möglichst vollständig kohärenten Lichtstrahl 302, der mittels einer Optik 303 durch den Strahlteiler 308 hindurch den Strahlteiler 304 beleuchtet. Der Strahlteiler 304 teilt den Lichtstrahl 302 in Messstrahl 315 und Referenzstrahl 305. Der Referenzstrahl 305 wird von einer Reihe von Spiegeln und Reflektoren optisch gefaltet: Der Referenzstrahl 305 wird zunächst von dem 90°-Spiegel 1001 nach Durchlaufen der Dispersions-Kompensationsprismen 307 und 307' auf den Retroreflektorspiegel 1002 und von diesem zurück auf den Reflektorspiegel 1003 gerichtet, der den Referenzstrahl weiters auf den 90°-Spiegel 1004 reflektiert. Der 90°-Spiegel 1004 richtet den Referenzstrahl 305 schließlich auf den Referenzspiegel 1005 mit der Spiegelfläche 1006. Der dort reflektierte Referenzstrahl läuft durch die optische Faltung zurück und wird von dem Strahlteiler 308 und der Optik 310 auf den Photodetektor 311 gerichtet.

Der vom Strahlteiler 304 (in der Zeichnung nach rechts) transmittierte Messstrahl 315 wird von dem Retroreflektor 1010 über die 90-Grad-Spiegel 1011 und 1012 auf die Fokussieroptik 1013 und von dieser in den Fokus 320 fokussiert. Die Relais-Optik 321 bildet den Fokus 320 auf das Auge 323 den Punkt 322 ab. Der Punkt 322 befindet sich auf der Cornea des Auges 323, dessen Länge beispielsweise gemessen wird.

Die Optiken 1013, 1002 und 1004 sind auf einer in Richtung der strichpunktiert gezeichneten Interferometerachse 340 beweglichen Scannerplatte 1335 montiert. Die Scannerplatte 1335 kann der bewegte Schlitten eines Voice Coil Scanners - beispielsweise der Firma Physik Instrumente - oder eines Ultraschall-Piezo-Scanningisches oder einer anderen entsprechenden Vorrichtung sein.

Weiters ist hier ein Hilfslaser 1014 für Justierzwecke, beispielsweise eine Helium-Neon-Laser, angeordnet, dessen Strahl 1015 über den Strahlteiler 304 eingespiegelt wird. Die Planplatte 1016 dient zur Dispersionskompensation für Messungen in der Tiefe des Auges 323.

Kurzkohärenz-interferometrische Längenmessung am Auge

Prof. Dr. Adolf Friedrich Fercher
Hassreitersteig 3/11
A-1230 Wien

Patentansprüche

1. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges, das den Messstrahl auf das jeweilige Kohärenzfenster fokussiert und die erforderlichen Interferometerspiegel-Scan-Strecken auf kleinere Strecken als die zu messenden Distanzen reduziert, dadurch gekennzeichnet, dass im Kurzkohärenz-Interferometer ein 90-Grad-Spiegel (316, 749) und eine Fokussieroptik (319, 709) eine periodische Hin-und-her Bewegung (Doppelpfeil 560) so ausführen, dass der von der Fokussieroptik erzeugte und mittels einer Relais-Optik (103, 321, 711) auf das Auge abgebildete Messstrahlfokus (101', 322, 712) synchron mit dem Kohärenzfenster von der Cornea entlang der optischen Achse des Auges bis zur Fovea centralis und zurück bewegt wird.
2. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel während seiner Bewegung den Messstrahl auf eine Reihe von in der Tiefe gestaffelten Reflektoren richtet.
3. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel während seiner Bewegung den Referenzstrahl sequentiell auf eine Reihe von in der Tiefe und seitlich gestaffelten Reflektoren richtet.
4. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel (316, 749) und die Fokussieroptik (319, 709, 709') auf dem periodisch hin und her bewegten Tisch einer Scanningvorrichtung in Bewegungsrichtung hintereinander montiert sind.
5. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel (316, 749) und die Fokussieroptik (319, 709, 709') auf dem periodisch hin und her bewegten Scanningvorrichtung in Bewegungsrichtung nebeneinander montiert sind.

6. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der von der Fokussieroptik (319, 709, 709') erzeugte Messstrahlfokus (101, 320, 710, 710') von einer Relais-Optik (321, 711) auf das Auge abgebildet wird, wobei der Corneascheitel im Abstand $b = f \left(1 + \frac{f}{L-D}\right)$ von der Relais-Optik angeordnet wird, mit f = Brennweite der Relaisoptik, L = optische Länge des Auges, D = Abstand der zu Cornea (317, 617, 750) und Fovea centralis (517, 619, 752) gehörenden Reflektoren.
7. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der von der Fokussieroptik (319, 709, 709') erzeugte Messstrahlfokus (320, 710, 710') und der 90-Grad-Spiegel (316, 749) um eine Strecke etwas größer als $L-D$ (L = optische Länge des Auges; D = Distanz der zu Cornea und Fovea centralis gehörenden Reflektoren) periodisch hin und her bewegt wird.
8. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufspaltung in die interferometrischen Mess- und Referenzarme (701, 702) des Kurzkohärenz-Interferometers mittels eines faseroptischen Kopplers (700) erfolgt.
9. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel (316, 749) und die Fokussieroptik (319, 709, 709') auf getrennten periodisch hin und her bewegten Scanningvorrichtungen in Bewegungsrichtung nebeneinander montiert sind.
10. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der 90-Grad-Spiegel (316, 749) und die Fokussieroptik (319, 709, 709') auf getrennten periodisch hin und her bewegten Scanningvorrichtungen montiert sind und die Bewegungen der zwei Scanningvorrichtungen elektronisch synchronisiert werden.
11. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass die Scanningvorrichtung (355 mit 356, 725 mit

726, sowie 925 und 925' mit 926 und 926') ein Schrittmotor- oder Piezomotor-gesteuerter Scanningtisch, ein Voice Coil Scanner oder ein Ultraschall-Piezo-Scanningtisch ist.

12. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass als Fokussieroptik (319, 709) eine Zerstreuungslinse (709') verwendet wird.

13. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass als Referenzarm auch eine sogenannte „Rapid Scan Optical Delay Line“ oder ein anderer Weglängenmodulator mit dem Interferometer-Meßarm kombiniert werden.

14. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Spiegels (306, 747) die Anfangskoinzidenz von Meßfokus und Kohärenzfenster etwa in die Mitte der Vorderkammer des Auges gelegt wird.

15. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der Scan-Hub durch optische Faltung des Referenzstrahlengangs verkleinert wird.

16. Kurzkohärenz-Interferometer zur Messung der Teilstrecken des Auges nach den obigen Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass der Scan-Hub durch optische Faltung des Messstrahlengangs verkleinert wird.

Kurzkohärenz-interferometrische Längenmessung am Auge

Prof. Dr. Adolf Friedrich Fercher
Hassreitersteig 3/11
A-1230 Wien

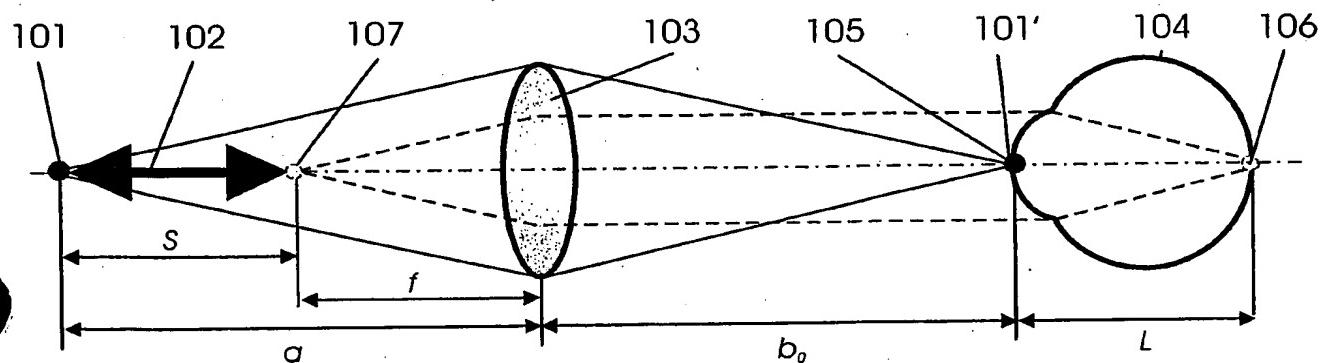
Zusammenfassung. Die kurzkohärenz-interferometrische Längenmessung am Auge hat 2 Probleme: Erstens fallen Messfokus und Kohärenzfenster meist nicht zusammen, zweitens benötigt der Scavorgang entlang der Augenachse Zeit. Beides hat schlechte Signalqualität und ungenaue Messungen zur Folge. Es wird ein Kurzkohärenz-Interferometer angemeldet, in dem ein 90-Grad-Spiegel und eine Fokussieroptik gemeinsam eine periodische Hin-und-her Bewegung so ausführen, dass der von der Fokussieroptik erzeugte und mittels einer Relais-Optik auf das Auge abgebildete Messstrahlfokus synchron mit dem Kohärenzfenster von der Cornea entlang der optischen Achse des Auges bis zur Fovea centralis bewegt wird. Weiters werden mittels mehrerer Reflektoren unterschiedliche Weglängen in den Mess- und Referenzstrahlengängen erzeugt, so dass sich der Scavorgang auf Strecken kleiner als die optische Länge des Auges beschränkt.

Eine vorteilhafte Implementierung der vorliegenden Erfindung erfolgt auf Basis faseroptischer Interferometer. Hierbei werden die erfundungsgemäß ausgestalteten Referenz- und Mess-Interferometerarme mit den Armen eines faseroptischen Interferometers kombiniert.

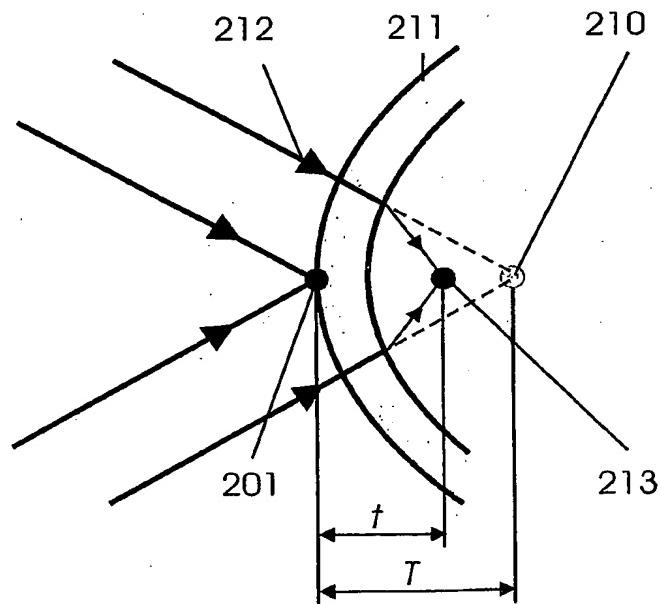
Am besten wird diese Anmeldung durch Figur 8 gekennzeichnet.

A 719/2004

Urkunde



Figur 1

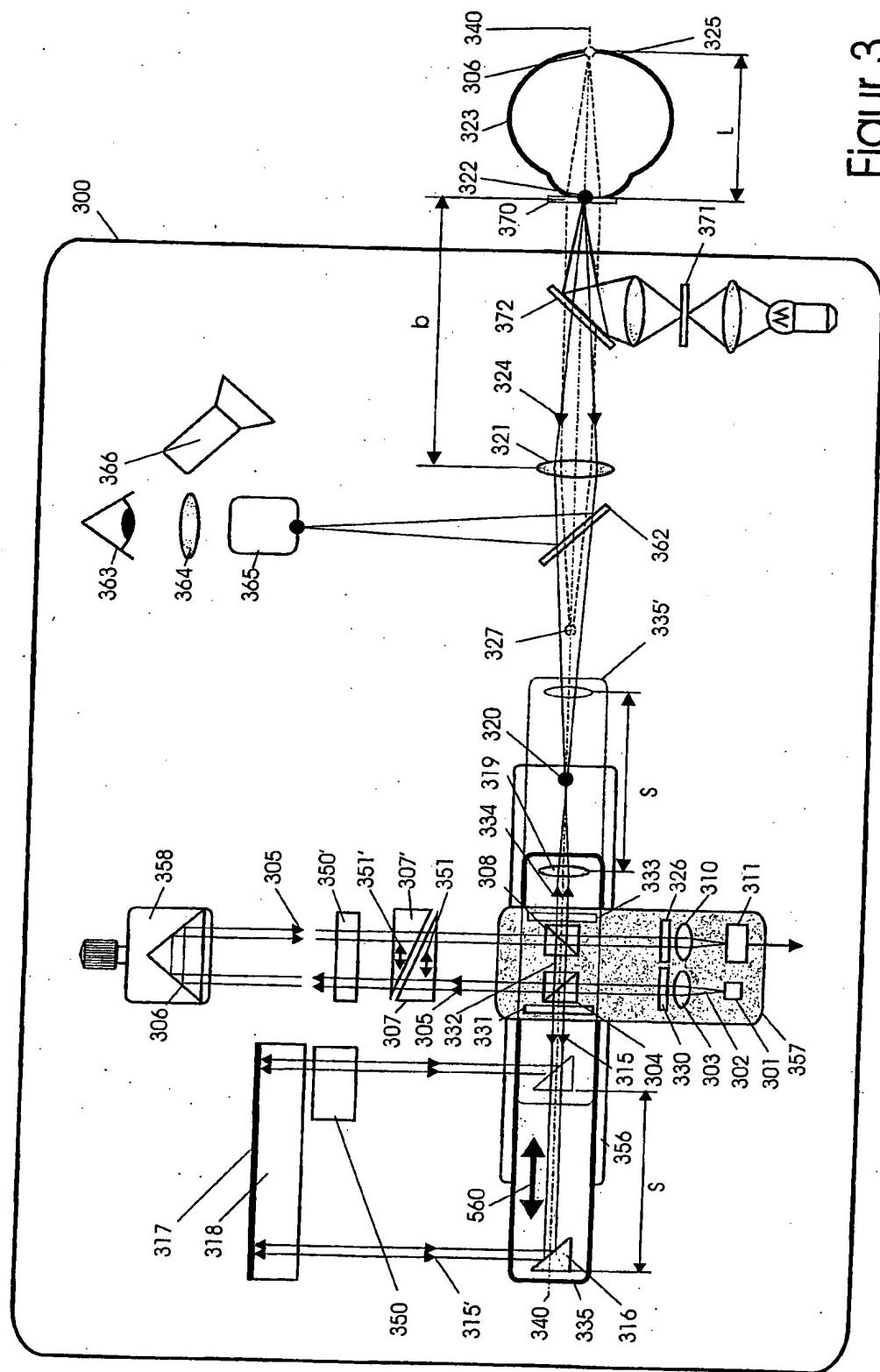


Figur 2

Patent30Neu.cdr

7 19 / 2004

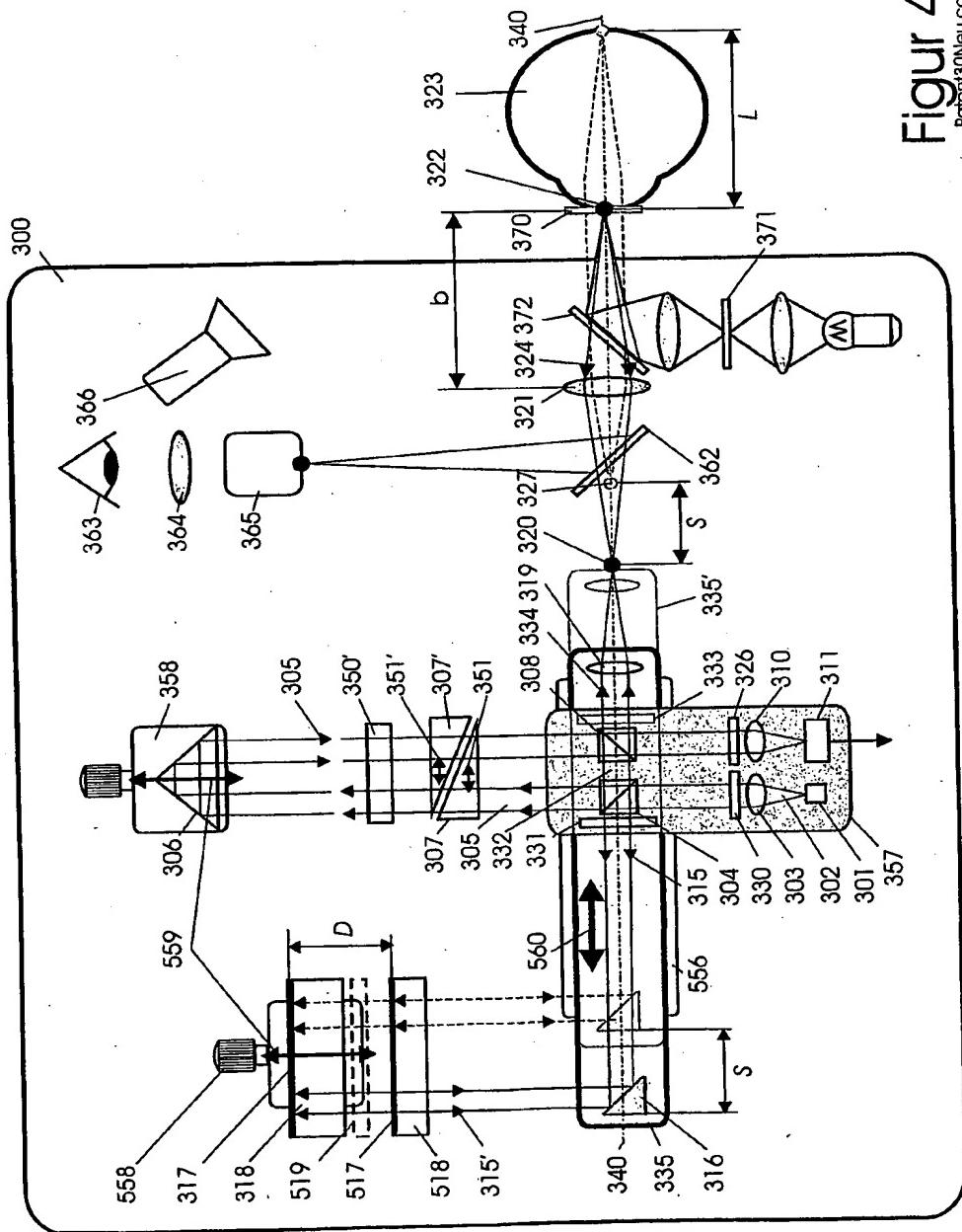
Untertitel



Figur 3
Patent30Neu.cdr

A 7 19 / 2004

Urheberrecht

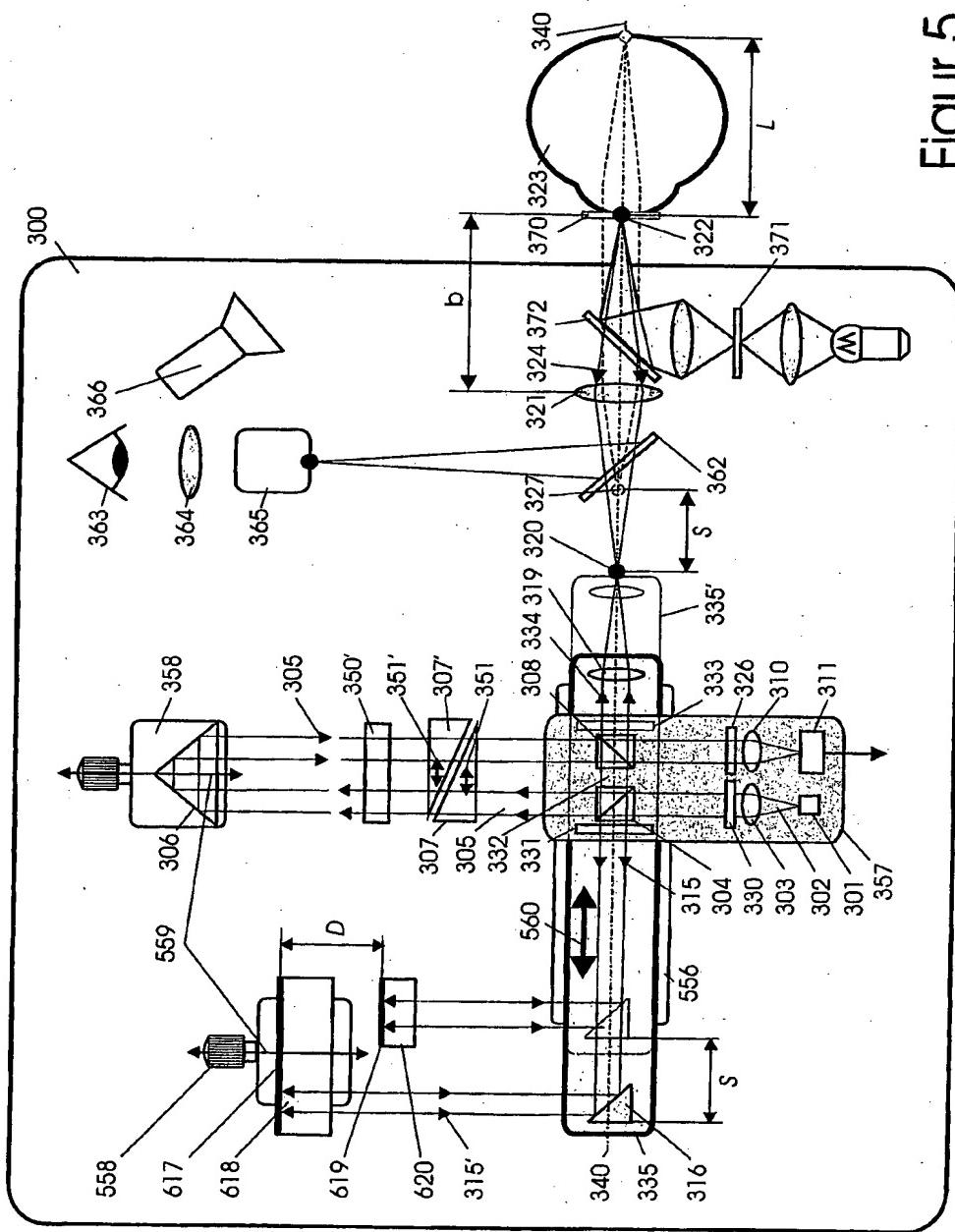


Figur 4
Patent 30Neu.cdr

719/2004

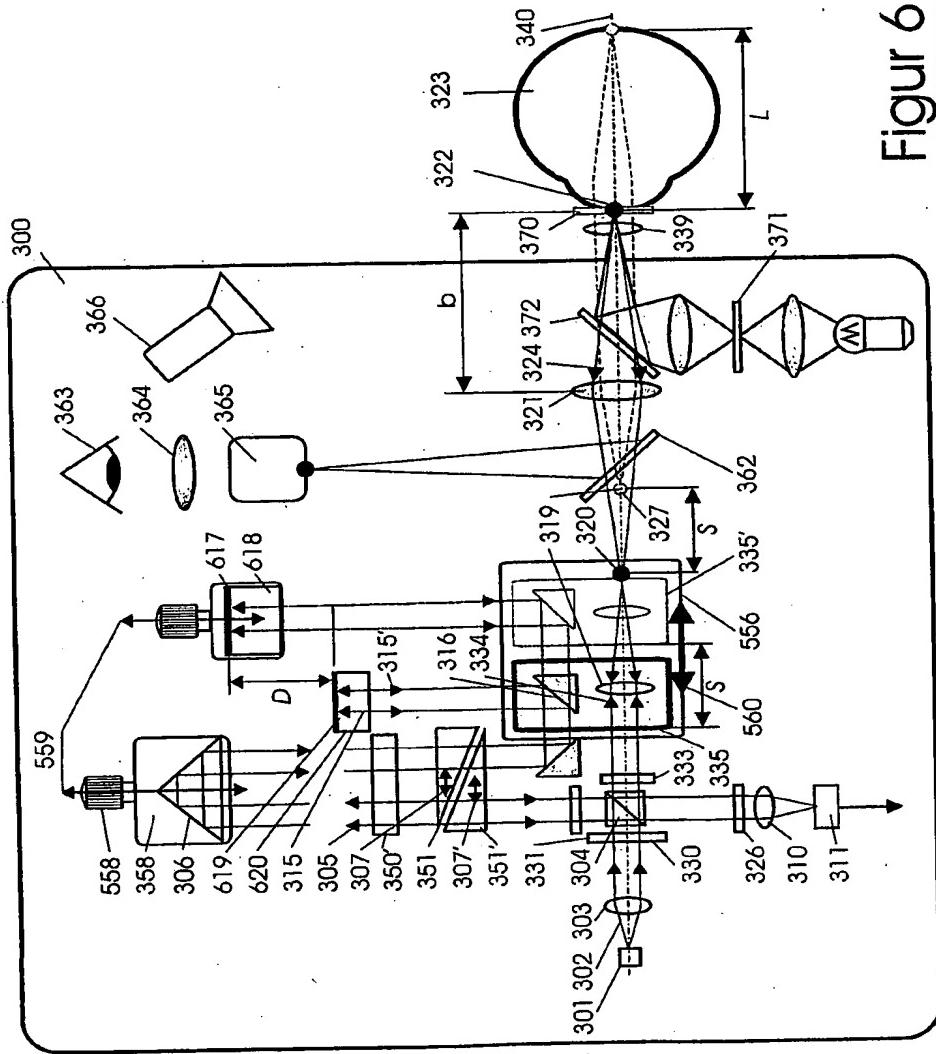
Untert

Figure 5
Patient 50NeuLdr



719 / 2004

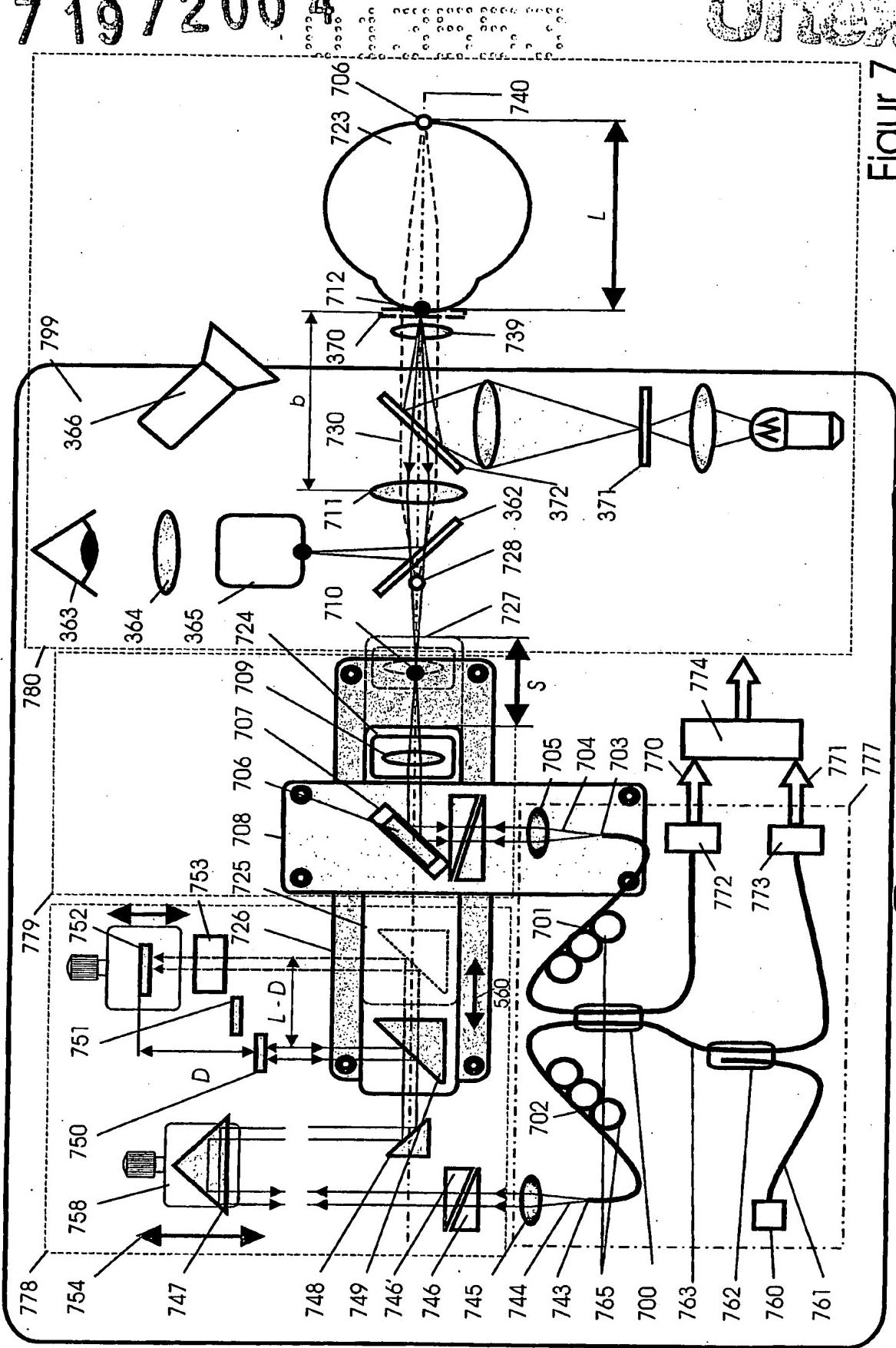
Wrestle



Figur 6
Patent30Neu.cdr

719/200 4
CLUB

Unacademy



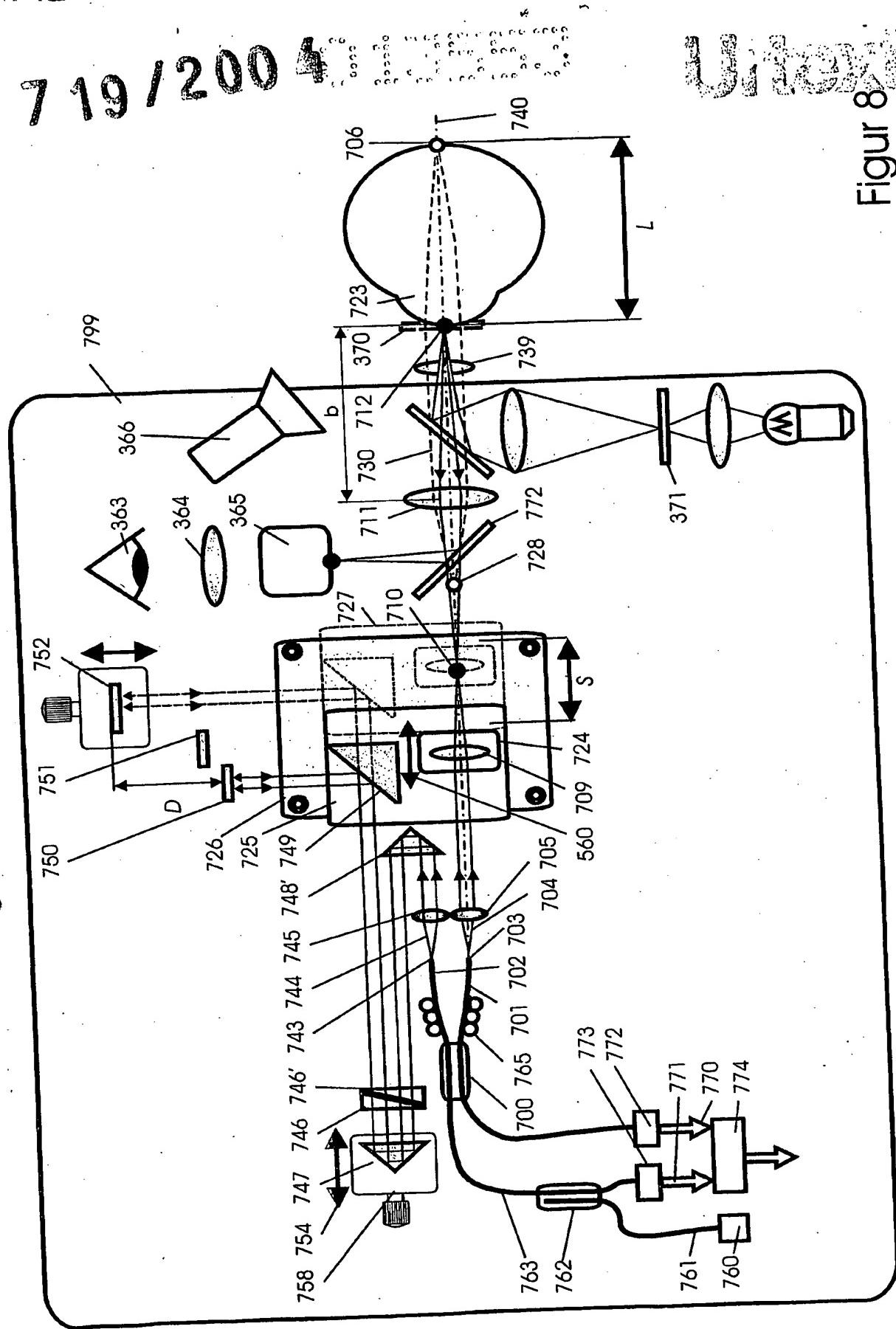
Figur 7
Patient 30Neu.cdr

719/2004

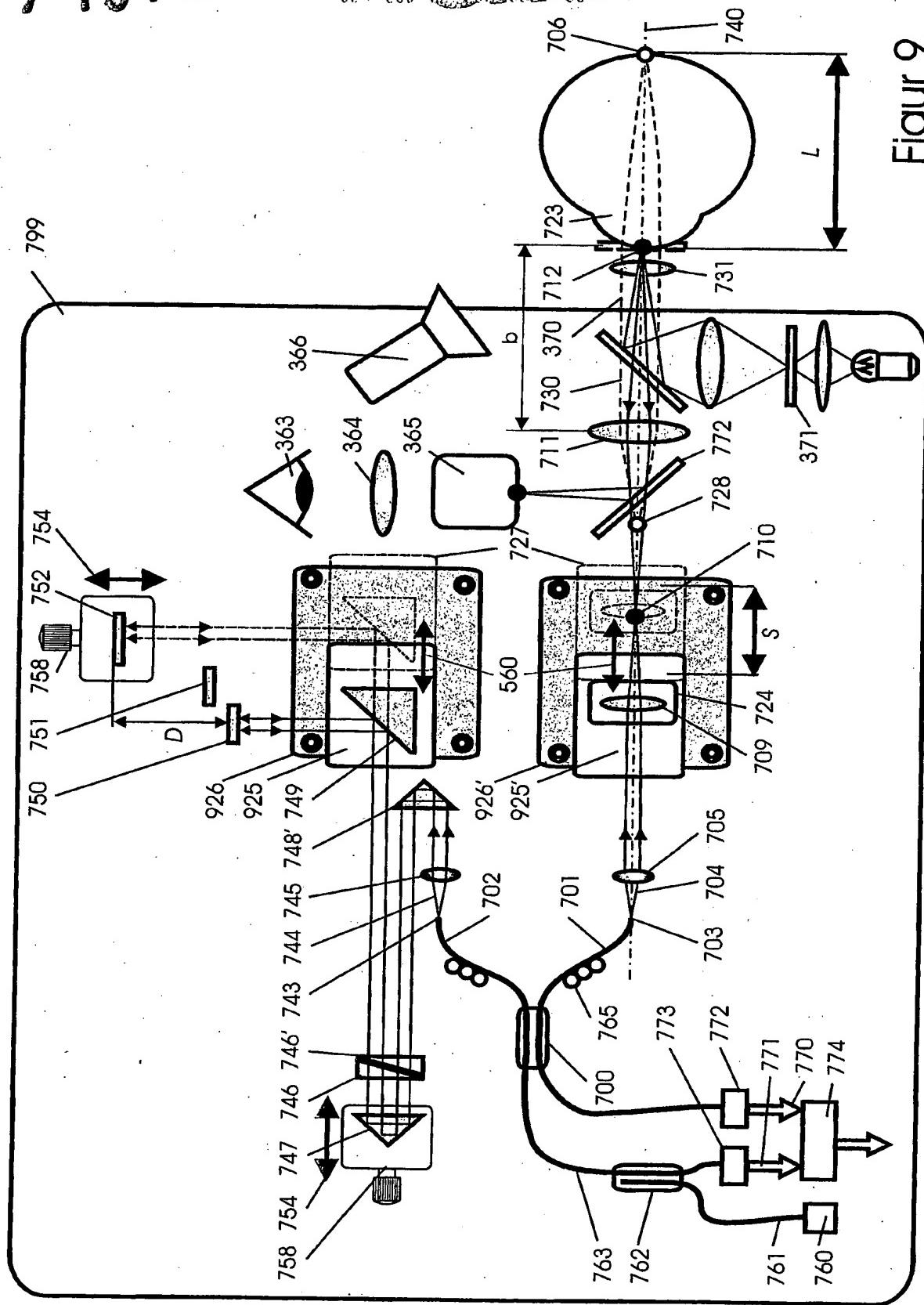
Dunk

Figure 8

Patent30Neu.pdf

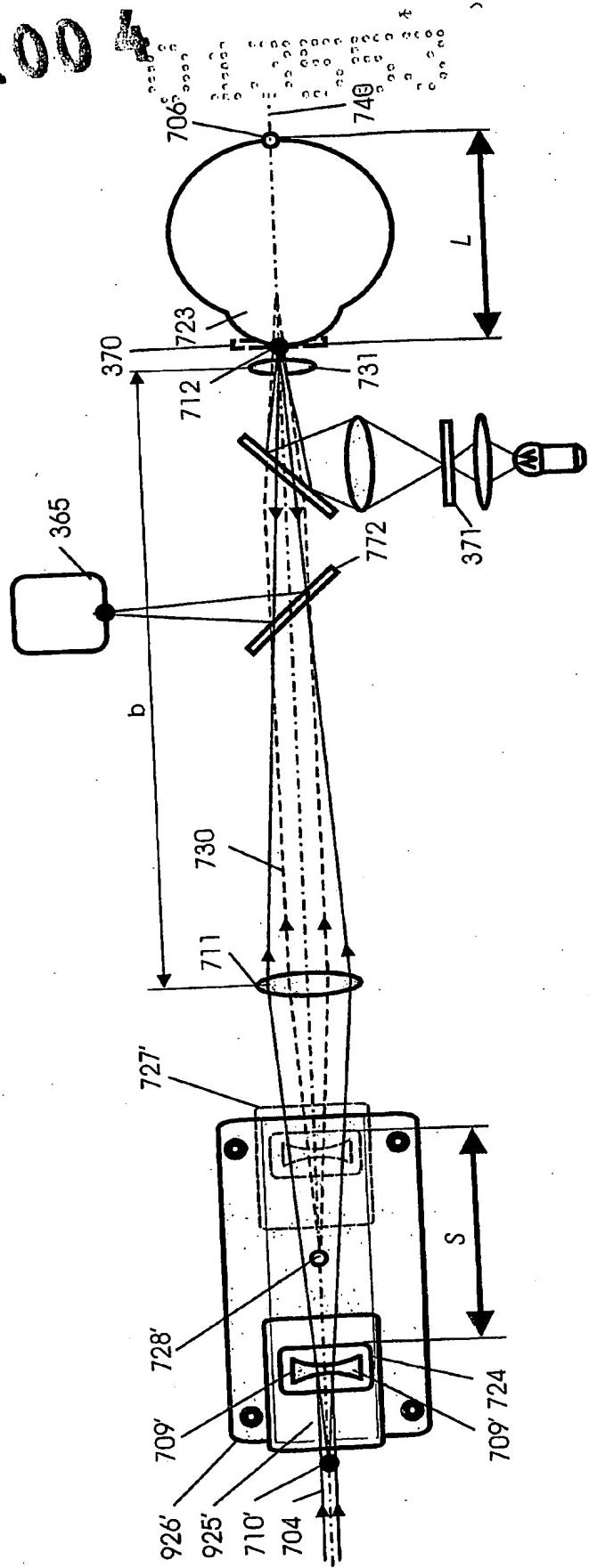


A 719/2004



Figur 9
Patent30Neu.cdr

719/2004
Figure 10
Patient 30 Neu cdr



7/19/2004

Untest

Figure 1
Patient30Neu cdr

